

Erhaltung und Förderung der Biodiversität von Fliessgewässern

Maria Alp, Theresa Karpati, Silke Werth, Walter Gostner, Christoph Scheidegger, Armin Peter

Zusammenfassung

Biodiversität ist eine grundlegende Eigenschaft natürlicher Ökosysteme, die durch zunehmende menschliche Eingriffe in den letzten Jahrhunderten stark bedroht ist. Der komplexe Begriff Biodiversität umfasst die Vielfalt an Lebensräumen und Arten mit ihren ökologischen Funktionen und Interaktionen und ihrer genetischen Vielfalt. All diese Aspekte sind eng miteinander verknüpft, und ein sachkundiges Wissen über diese Zusammenhänge ist eine wichtige Voraussetzung für die effiziente Planung von Massnahmen zur Erhaltung und zur Förderung der Biodiversität.

Dieser Artikel erläutert wichtige Aspekte der Biodiversität in Fliessgewässern. Unter anderem werden Ergebnisse von vier ausgewählten Studien vorgestellt, die sich im Rahmen des Projekts «Integrales Flussgebietsmanagement» mit verschiedenen Aspekten der Biodiversität befassen haben. Wie hängt die Vielfalt aquatischer Organismen mit der Flussmorphologie zusammen? Wie können die Ansprüche verschiedener Lebensphasen bei aquatischen Organismen berücksichtigt werden? Welche Faktoren beeinflussen die genetische Vielfalt der Populationen? Wie beeinflusst die Flussdynamik die Lebensräume und somit das Vorkommen von flussbegleitenden Arten? Diese und andere Fragen werden im folgenden Artikel angegangen.

1. Was macht die Biodiversität aus?

Definiert nach der Biodiversitäts-Konvention (2005) bezeichnet der Begriff Biodiversität die Vielfalt an Ökosystemen und Arten mit ihren ökologischen Funktionen und Interaktionen sowie ihrer genetischen Vielfalt.

Ein Ökosystem (beispielsweise ein Fluss) umfasst einen Lebensraum mit einer bestimmten Artengemeinschaft in einem räumlich abgegrenzten Ausschnitt der Biosphäre. Jede Art hat im Ökosystem ihren spezifischen Lebensraum, das Habitat. Habitate bieten den Arten Nahrung und Schutz und ermöglichen den Ablauf des gesamten Lebenszyklus. Ausserdem ist jede Art in ihrem Habitat auch Interaktionen mit anderen Arten wie zum Beispiel Konkurrenz oder Räuber-Beute-Beziehungen ausgesetzt. Die Bedürfnisse jeder Art bezüglich Grösse und Typ des Habitats sind unterschiedlich und können je nach Lebensabschnitt variieren.

Nicht nur die Vielfalt an Arten und Lebensräumen, sondern auch die Vielfalt an Funktionen, die ein Ökosystem erfüllt, machen einen bedeutenden Teil der Biodiversität aus. Bei Fliessgewässern inter-

agieren geomorphologische und hydrologische Prozesse eng mit der Fluss- und Uferbiota (Brierley & Fryirs, 2008). Die Aufnahme und die Abgabe von Kohlendioxid, Sauerstoff und anderen Nährstoffen, der Abbau von organischem Material oder die Primärproduktion sind nur wenige Beispiele vieler solcher Funktionen. Jede einzelne Art ist durch ihre Lebensfunktionen in einer Reihe solche Prozesse beteiligt und kann dabei sogar eine Schlüsselrolle übernehmen (Lawton, 1994).

Die genetische Vielfalt ist wichtig, um das Überleben einzelner Arten zu ermöglichen. Wenn sich die Umweltbedingungen ändern, beispielsweise bei einer Klimaerwärmung, überleben nur Individuen einer Art, welche die genetische Anlage haben, den sich ändernden Umwelteinflüssen (wie Temperaturanstieg oder Einwanderung neuer Arten) anzupassen. Eine hohe genetische Vielfalt kann die Überlebenswahrscheinlichkeiten von Populationen günstig beeinflussen. Umgekehrt kann der Verlust der genetischen Vielfalt einer Art auch deren Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Umweltfaktoren reduzieren (Frankham et al., 2010). Die genetische Vielfalt ist somit eine der

Grundvoraussetzungen für die Erhaltung der Biodiversität unter sich verändernden Umweltbedingungen.

2. Die Rolle der Vielfalt, Dynamik und Vernetzung der Habitate in Fliessgewässern

In Fliessgewässern sind die Vielfalt, Grösse, funktionelle Vernetzung und Dynamik der Habitate wichtige Voraussetzungen für eine hohe Biodiversität. Die Vielfalt der Habitate wird durch eine Reihe abiotischer Umweltfaktoren charakterisiert. In einem natürlichen Flusslauf sind dies vor allem die Morphologie und die Geologie des Flussgebiets sowie die chemische Zusammensetzung von Boden und Wasser, die ihrerseits durch die Geologie beeinflusst sind. Auch dynamische Faktoren wie saisonale Schwankungen der Niederschläge, des Abflusses, der Temperatur oder der Einstrahlung sind wichtige Charakteristika der Habitate. Die räumliche und zeitliche Verteilung des Niederschlags bedingt nicht nur das Abflussregime in einem Fliessgewässer, sondern auch die Höhe und Vielfalt der Ufervegetation. Temperatur- und Einstrahlungsverlauf (Tages- und Jahreswerte) bestimmen Wachstum, Aktivität und Lebensdauer aquatischer und terrestrischer Arten. Die für Fliessgewässer wichtige Vernetzung der Habitate führt dazu, dass sich unterschiedliche Flussabschnitte sowie terrestrische und aquatische Habitate gegenseitig beeinflussen. Die genannten Aspekte der Habitatvielfalt sind wichtig, um das Vorkommen flussgewässerspezifischer Arten und damit ihre Funktion im Ökosystem Fliessgewässer zu erhalten (Rohde, 2005; Bild 1).

3. Auswirkung flussbaulicher Eingriffe auf die Lebensräume

In verbauten und von Menschen genutzten Flüssen sind viele Umweltfaktoren verändert, was einschneidende Auswirkungen auf die Habitat- und Artenvielfalt nach sich zieht. Zu den stärksten Beeinträch-

Ein Ökosystem mit sehr hoher Biodiversität: Flussaue mit natürlicher Abflussdynamik

Dynamische Fließgewässer mit natürlichen Altarmen und intakter Quervernetzung mit Auen weisen eine sehr hohe Habitatvielfalt auf (Bild 1). Durch bettbildende Hochwasserereignisse kann ein natürliches Fließgewässer seinen Lauf immer wieder verlagern und so neue Lebensräume für aquatische und terrestrische Organismen mit unterschiedlichsten Ansprüchen schaffen. Der Hauptarm bildet das Habitat für adulte Fische, strömungsliebende Jungfische und viele Wirbellose. In Seitenarmen mit tiefen Fließgeschwindigkeiten finden Wasservögel und Jungfische Nahrung und Schutz. Regelmässige Überflutungen der Uferzone und Kiesbänke liefern neue Nährstoffe, führen aber auch zu geringeren Vegetationsdichten in diesen Habitaten. Die Kiesbänke bieten so ein optimales Habitat für viele gefährdete Insekten- oder Pionierpflanzenarten (z.B. Kiesbank-Grashüpfer und Deutsche Tamariske), die auf offene Kiesbänke mit wenig Vegetation angewiesen sind. Sie sind auch wichtig als Bruthabitate für schotterbrütende Vogelarten (z.B. Flussregenpfeifer). In periodisch überfluteten Tümpeln leben und laichen viele Amphibienarten (z.B. Gelbbauchunke, Laubfrosch, Alpenkammolch). In der Weichholzaue wachsen strauch- bis baumhohe Weidengewächse und Schwarzpappeln, auf die einige seltene Schmetterlingsarten, wie der Kleine Schillerfalter, angewiesen sind. Die Hartholzaue, die seltener überflutet wird, beherbergt Baumarten wie Stieleiche, Bergulme und Esche sowie viele Vögel (Kuckuck, Gelbspötter, Baumfalke).

tigungen zählen die Begradigung von Flussabschnitten, die Kanalisierung von Flüssen, die Verbauung der Uferzone und der Sohle, die Veränderung des hydrologischen Regimes durch Wasserkraftwerke, die Fragmentierung des Fließgewässers durch Abstürze und Stauungen, sowie der Kiesabbau (Naiman, Decamps & McClain, 2005).

Flussbegradigungen führen zu einer dramatischen Reduktion der Wassertiefenvariabilität und somit auch zu einer starken Veränderung der hydraulischen Verhältnisse im Flussprofil. Flussstrecken mit vielfältigen Fließgeschwindigkeiten – eine Grundvoraussetzung für das Vor-

kommen von Arten mit unterschiedlichen Habitatansprüchen – sind monotonen, kanalisierten Strecken gewichen, die nur für Arten geeignet sind, die mit schnellen Strömungsverhältnissen auskommen.

Die Abholzung der Ufervegetation eliminiert den Laubeintrag, der die Nahrungsbasis für viele aquatische Wirbellose liefert. Die Abholzung ist oft auch Ursache für unerwünschten Sedimenteintrag vom Ufer und den umliegenden Bereichen. Das Fehlen natürlicher Vegetation und Beschattung beeinflusst die Wassertemperatur und somit auch den Sauerstoffgehalt des Wassers, besonders in kleinen, normalerweise bewaldeten Bächen.

Auch Änderungen des hydrologischen Regimes haben gravierende Auswirkungen auf die aquatischen und terrestrischen Lebensräume der Fließgewässer. In Restwasserstrecken und unterhalb von Staudämmen ist der Abfluss oftmals stark reduziert und die natürliche Hochwasserdynamik unterbrochen. Dies führt zum Verschwinden vieler Habitate, so etwa von Kiesbänken mit verschiedenen Sukzessionsstadien der Vegetation, die auf regelmässige, bettumlagernde Hochwasser zwingend angewiesen sind. Zudem sind viele Schweizer Flüsse durch unnatürliche, tägliche und oft sehr starke Abflussschwankungen (Schwall-Sunk) beeinträchtigt, die durch den Betrieb von Wasserkraftwerken verursacht werden. Beim Schwall, dem schnellen Anstieg des Abflusses, kommt es zum Wegspülen (sogenannte Katastrophendrift) von aquatischen Wirbellosen und Jungfischen (Moog, 1993). Bei Sunk, dem raschen Absinken des Abflusses, kommt es hingegen zum Stranden von aquatischen Organis-

men (Salveit et al., 2001). Solche vom Menschen verursachte Veränderungen des hydrologischen Regimes beeinträchtigen auch die Fortpflanzung und somit die Erhaltung vieler aquatischer Arten massiv.

4. Welche Biodiversität ist erstrebenswert bei Revitalisierungsprojekten?

Bei Revitalisierungen geht es nicht primär darum, hohe Artenzahlen zu erzielen, sondern vielmehr, ökologische Funktionen der Gewässer wiederherzustellen und eine Wiederbesiedlung ehemals monotoner Flussabschnitte durch die charakteristischen Arten der Fließgewässer zu ermöglichen. Unter diesen Zielarten befinden sich hoch spezialisierte und seltene Arten mit unterschiedlichsten Habitatansprüchen. Viele dieser Arten erfüllen wichtige ökologische Schlüsselfunktionen (z.B. der landschaftsgestaltende Biber, die kiesbankbefestigende Tamariske oder aquatische Insekten, von denen sich Fische und terrestrische Räuber ernähren).

Um den Einfluss einer Reihe von Habitatfaktoren auf einzelne Arten sowie auf ganze Lebensgemeinschaften und somit auch auf die Biodiversität allgemein zu erläutern, werden hier vier Fallstudien aus dem Projekt «Integrales Flussgebietsmanagement» präsentiert.

5. Fallstudie 1: Wie hängt die Vielfalt des Makrozoobenthos mit der Flussmorphologie zusammen?

Die Habitatvielfalt gilt als eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Entwicklung und Erhaltung artenreicher Lebensgemeinschaften (Jungwirth et al., 2003).

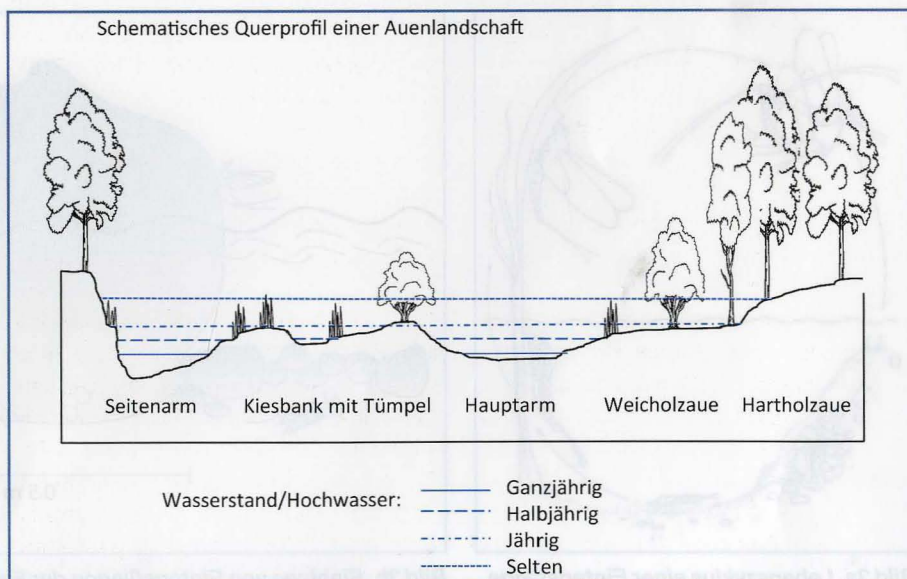


Bild 1. Vielfalt der Lebensräume und Überschwemmungsdynamik einer natürlichen Flussaue.

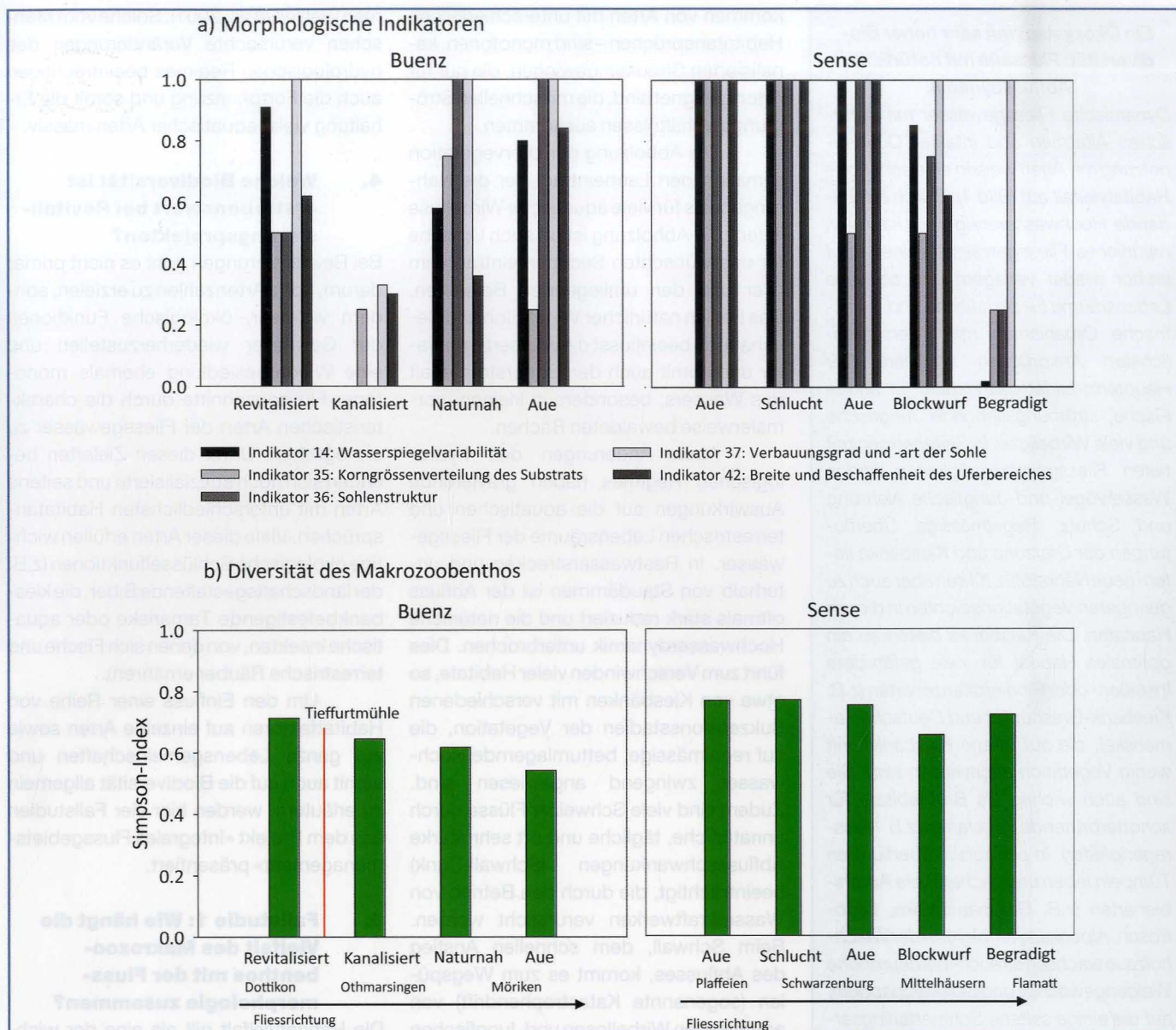


Bild 2. Ausgewählte abiotische Indikatoren zum Flusszustand (a) nach Woolsey et al. (2005) und die Artenvielfalt des Makrozoobenthos (b) an der Bünz (AG) und Sense (BE/FR). Die Skala reicht von 0 bis 1, wobei 1 für die abiotischen Indikatoren ein natürliches Flusssystem bezeichnet (oben) und für das Makrozoobenthos die höchstmögliche Diversität anzeigt.

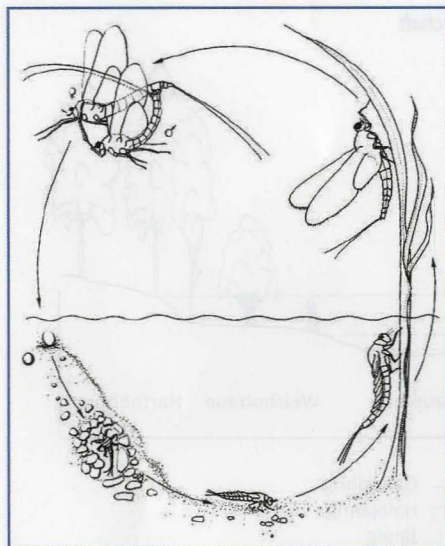


Bild 3a. Lebenszyklus einer Eintagsfliege gemäss Studemann et al. (1992).

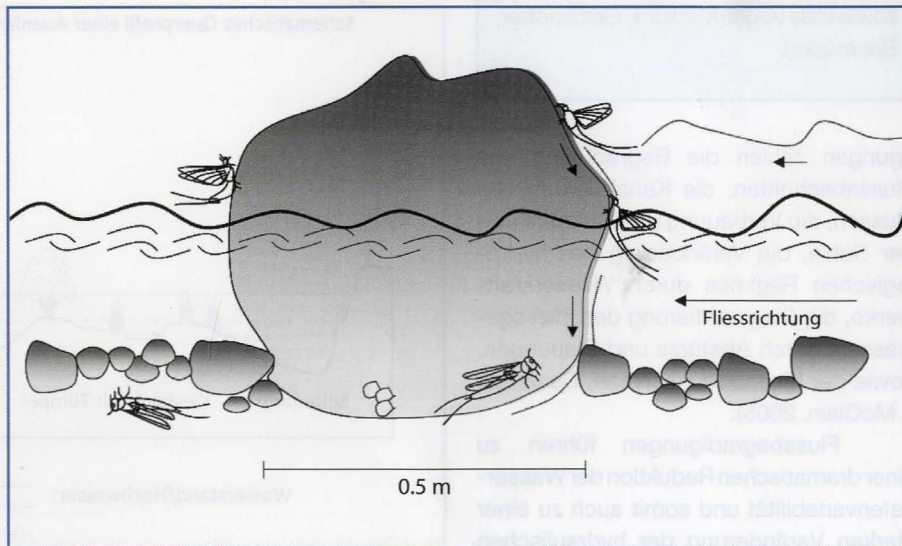


Bild 3b. Eiablage von Eintagsfliegen der Familie Baetidae gemäss Encalada & Peckarsky (2007). Nach dem Landen auf einem aus dem Wasser herausragendem Stein kriechen die Weibchen unter Wasser und heften ihre Eimassen auf der Steinunterseite an.

Viele Flussrevitalisierungen wurden bis heute unter der Annahme durchgeführt, dass die Wiederherstellung einer heterogenen, naturnahen Flussmorphologie zu einem besseren ökologischen Zustand mit reicheren Lebensgemeinschaften führt (Palmer et al., 2010). Um den Zusammenhang zwischen morphologischer Vielfalt und Artenvielfalt zu untersuchen, wurden in den Jahren 2008–2009 zwei Fallstudien durchgeführt (Herzog, 2010, Staeheli, 2008). Dafür wurden zwei Schweizer Flüsse (Bünz und Sense) ausgewählt, die Abschnitte mit sehr unterschiedlicher Morphologie aufweisen.

Die Bünz (AG) ist ein Mittellandfluss, der durch eine landwirtschaftlich stark genutzte Gegend fliesst und vor etwa 100 Jahren zu einem grossen Teil begradigt und kanalisiert wurde (Burger, 2007). Nur noch wenige Strecken haben eine naturnahe Morphologie beibehalten. Dafür weist die Bünz bei Möriken eine breite, durch Kiesbänke geprägte Aue von nationaler Bedeutung auf, die infolge eines 100-jährigen Hochwassers natürlich entstanden ist. Im Oberlauf der Bünz sind in den letzten Jahren durch mehrere Flussrevitalisierungen weitere morphologisch vielfältige Strecken entstanden. Die Sense (BE/FR) hingegen ist ein voralpiner Fluss, dessen natürliche Morphologie im ganzen Oberlauf erhalten ist. Nur im Unterlauf wurde das Flussufer bei Mittelhäusern durch Blockwürfe befestigt, und unterhalb von Thörishaus ist der Flusslauf begradigt worden. In vier bis fünf Abschnitten beider Flüsse wurde neben der Morphologie die Artenvielfalt vom Makrozoobenthos untersucht. Um den morphologischen Zustand jeder Strecke zu charakterisieren, wurden folgende Standardindikatoren aus dem Handbuch für Erfolgskontrolle verwendet (Woolsey et al., 2005): Wasserspiegelbreitenvariabilität (Indikator 14), Korngrössenverteilung des Substrats

(Indikator 35), Sohlenstruktur (Indikator 36), Verbauungsgrad und -art der Sohle (Indikator 37), Breite und Beschaffenheit des Uferbereichs (Indikator 42). Für die Bewertung der Vielfalt des Makrozoobenthos wurde der Simpson-Index, ein Standardindex für Diversität, kalkuliert.

In Bezug auf alle morphologischen Indikatoren (ausser Indikator 37 an der Sense) gab es beträchtliche Unterschiede zwischen den morphologisch vielfältigen und monotonen Abschnitten (Bild 2a). Es konnte jedoch kein Zusammenhang der Artenvielfalt des Makrozoobenthos mit der Flussmorphologie gezeigt werden (Bild 2b). So war zum Beispiel die Diversität des Makrozoobenthos in der kanalisiertierten Strecke in der Bünz vergleichbar mit jener in der Aue bei Möriken.

Solche Diskrepanzen zwischen morphologischer Vielfalt und Artenvielfalt wurden schon in anderen Studien gezeigt (Palmer 2010, Jaehnig et al., 2010). Die Ergebnisse lassen jedoch nicht die Schlussfolgerung zu, dass Revitalisierungen im Sinne von Wiederherstellung morphologischer Diversität der Erhöhung lokaler Artenvielfalt nicht dienen. Vielmehr

deuten sie darauf hin, dass noch weitere Faktoren eine wichtige Rolle spielen und in die Studien und Massnahmenplanung mit einbezogen werden sollen (Palmer, 2010). Diese Faktoren können positive Auswirkungen der morphologischen Verbesserungen auf aquatische Arten überlagern. In den beiden vorgestellten Fallstudien gibt es Anzeichen für solche überlagernden Effekte. In der Bünz könnten Wasserqualität und künstliche Abflussschwankungen die ausschlaggebende Rolle spielen. Seit Jahrzehnten wurde der Fluss durch intensive Landwirtschaft, Einleitung von Abwässern durch mehrere Abwasserreinigungsanlagen, chemische Industrie und dichte Besiedlung belastet (Burger, 2007). Diese Belastung ist erst kürzlich etwas zurückgegangen. Zusätzlich sind die untersten drei Strecken (Bild 2 kanalisiert, naturnah und Bünzaue) von einer kleinen Wasserkraftanlage in Dottikon (Tiefuhrmühle) beeinflusst. Es ist bekannt, dass das Makrozoobenthos empfindlich gegenüber Veränderungen von Wasserqualität und hydrologischem Regime ist (Jungwirth, 2003). Somit könnten Defizite in diesen Lebensraumfaktoren die Ursa-



Bild 4a. Backstein-Experiment in der Bünz.

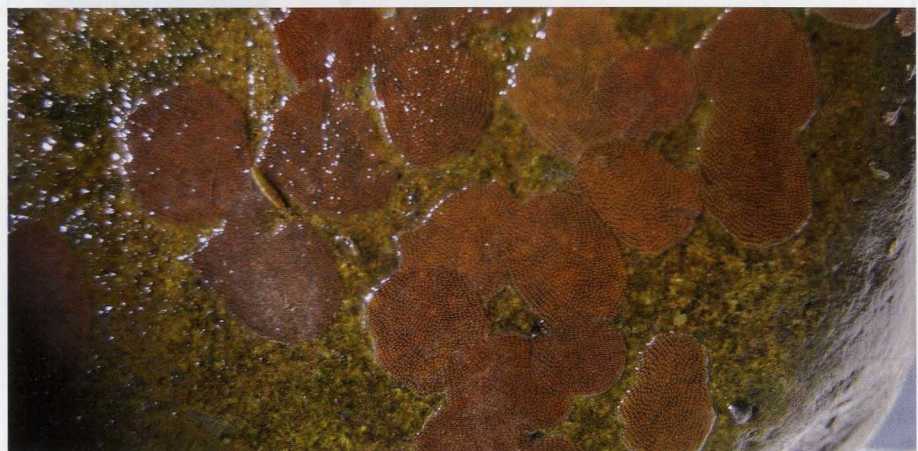


Bild 4b. Eimassen von (*Hydropsyche* spp.), einer weitverbreiteten Köcherfliege.

Makrozoobenthos

Sammelbezeichnung für Tiere, die den Gewässerboden bewohnen und zumindest in einem Lebensstadium mit freiem Auge sichtbar sind (nach Jungwirth et al., 2003).

Wegen ihrer Empfindlichkeit gegenüber vielen anthropogenen Stressoren (Versauerung, organische Belastung, Schwallereignisse) und ihrer einfachen Beprobung werden die Arten des Makrozoobenthos oft als Bioindikatoren für Bewertung der Gewässergüte verwendet (Jungwirth et al., 2003).

che für die Ähnlichkeit in der Vielfalt des Makrozoobenthos trotz beträchtlichen morphologischen Unterschieden zwischen den Strecken an der Bünz sein. Im Vergleich zur Bünz ist die Belastung der Sense durch Landwirtschaft, Siedlungen und Abwassereinleitungen (besonders im Oberlauf) sehr gering und das Abflussregime ist natürlich. Auch das Ausmass der Flussverbauungen im Unterlauf der Sense ist weniger dramatisch als in der Bünz. So ist beispielsweise die Sohle immer noch weitgehend unverbaut (*Bild 2a*). Der gute ökologische Zustand der Sense im Oberlauf könnte eine positive Auswirkung auf die Artenzahl im verbauten Unterlauf haben, deren Lage im Flussnetzwerk es erlaubt, von der passiven Ausbreitung der Organismen aus den natürlichen Strecken im Oberlauf zu profitieren.

Schlussfolgerungen:

Eine Wiederherstellung der hydraulisch-

morphologischen Vielfalt kann in Flüssen mit Belastungen in Bezug auf Wasserqualität und Hydrologie für die Förderung der Artenvielfalt nicht ausreichend sein.

Bei der Planung der Revitalisierungsmassnahmen ist die Lage der Strecke im Fluss relativ zur Lage von Quellpopulationen vordergründig zu berücksichtigen. Strecken unterhalb intakter Flussabschnitte können positiv beeinflusst werden und eine ähnlich hohe Biodiversität wie natürliche Abschnitte aufweisen. Solange die Beeinträchtigung der Lebensräume nicht gravierend ist, kann dieser positive Effekt der Lage im Fluss bestimmte lokale Defizite kompensieren.

Die benthischen Makroinvertebraten reagieren nicht gleich auf alle Aspekte der Flussmorphologie bzw. der Verbauungen. Der Einbezug weiterer Organismengruppen (beispielsweise Fische) wäre hilfreich für ein besseres Verständnis der

Zusammenhänge zwischen Habitat- und Artenvielfalt.

6. Fallstudie 2: Unterschiedliche Lebensphasen – unterschiedliche Habitate

Zur Aufrechterhaltung der Artenvielfalt in einem Fluss gilt es zu berücksichtigen, dass viele Arten im Verlauf ihrer Lebensphasen unterschiedliche Ansprüche an ihre Lebensräume stellen. Speziell trifft das für Organismen mit komplexen Lebenszyklen zu – wie zum Beispiel Amphibien und aquatische Insekten, die einen Teil ihres Lebens im Wasser und einen Teil in terrestrischen Lebensräumen verbringen. Bei aquatischen Insekten ist die geflügelte Adultphase auf dem Land sehr kurz (*Bild 3a*) – bei vielen Arten dauert sie nur wenige Tage oder Stunden. Trotzdem spielen die Habitatsansprüche adulter Insekten eine entscheidende Rolle für die Erhaltung der Populationen, da in dieser Lebensphase ihre Fortpflanzung stattfindet. Ein Schlüsselereignis stellt dabei die Eiablage dar. Viele aquatische Insekten sind an ihre Lebensräume speziell angepasst und legen ihre Eier nur auf einem bestimmten Substrattyp ab (z.B. Holz, Wasserpflanzen oder Steine; Reich & Downes, 2003). Dabei spielt nicht nur die Verfügbarkeit dieser Strukturen eine Rolle, sondern auch ihre Lage über oder unter dem Wasser. Adulttiere mancher Insektenarten sind nicht fähig zu tauchen und brauchen aus dem Wasser herausragenden Substrate zur Landung (*Bild 3b*; Peckarsky, Taylor & Caudill, 2000). Für den Erfolg der Eiablage und somit für die Reproduktion solcher Arten spielen der Wasserstand und die lokale Wassertiefenvariabilität eine wichtige Rolle.

Um die Auswirkungen von Flussverbauungen auf die Eiablage von Insekten zu untersuchen, wurde in zwei Schweizer Mittellandflüssen, Bünz (AG) und Rappach (ZH), im Jahr 2008 ein Experiment durchgeführt. In beiden Flüssen wurden in drei Abschnitten mit sehr unterschiedlicher Morphologie («naturnah», «kanalisiert» und «kürzlich revitalisiert») Backsteine eingesetzt (*Bild 4a*). Diese Backsteine stellten zusätzliche Substrate für Invertebraten dar, die ihre Eimassen auf Steinoberflächen anheften; sie ragten bei den meisten Abflussverhältnissen aus dem Wasser. Die Eiablage auf diesen Backsteinen und auf den natürlich vorhandenen Steinen wurde über den ganzen Sommer verfolgt. Über 10 verschiedene Insektengattungen (z.B. *Hydropsyche*, *Hydroptila*, *Baetis*, *Bezzia*) und andere Wirbellose (Hundeegel, Mol-

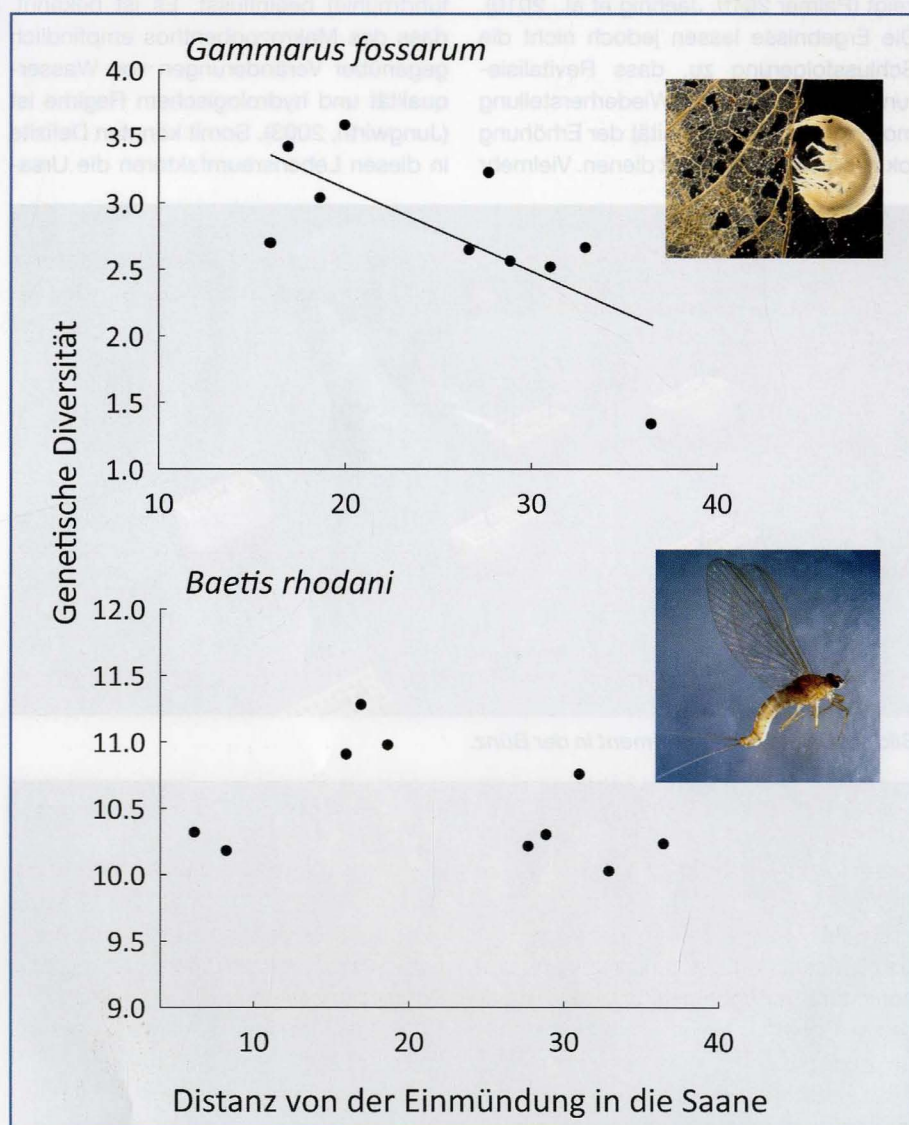


Bild 5. Genetische Vielfalt (ausgedrückt als Allelvielfalt) von Populationen des Bachflohkrebses (*Gammarus fossarum*) und der Eintagsfliege (*Baetis rhodani*) an der Sense in Abhängigkeit von der Lage im Flusssystem (ausgedrückt als Distanz zur Einmündung in die Saane).

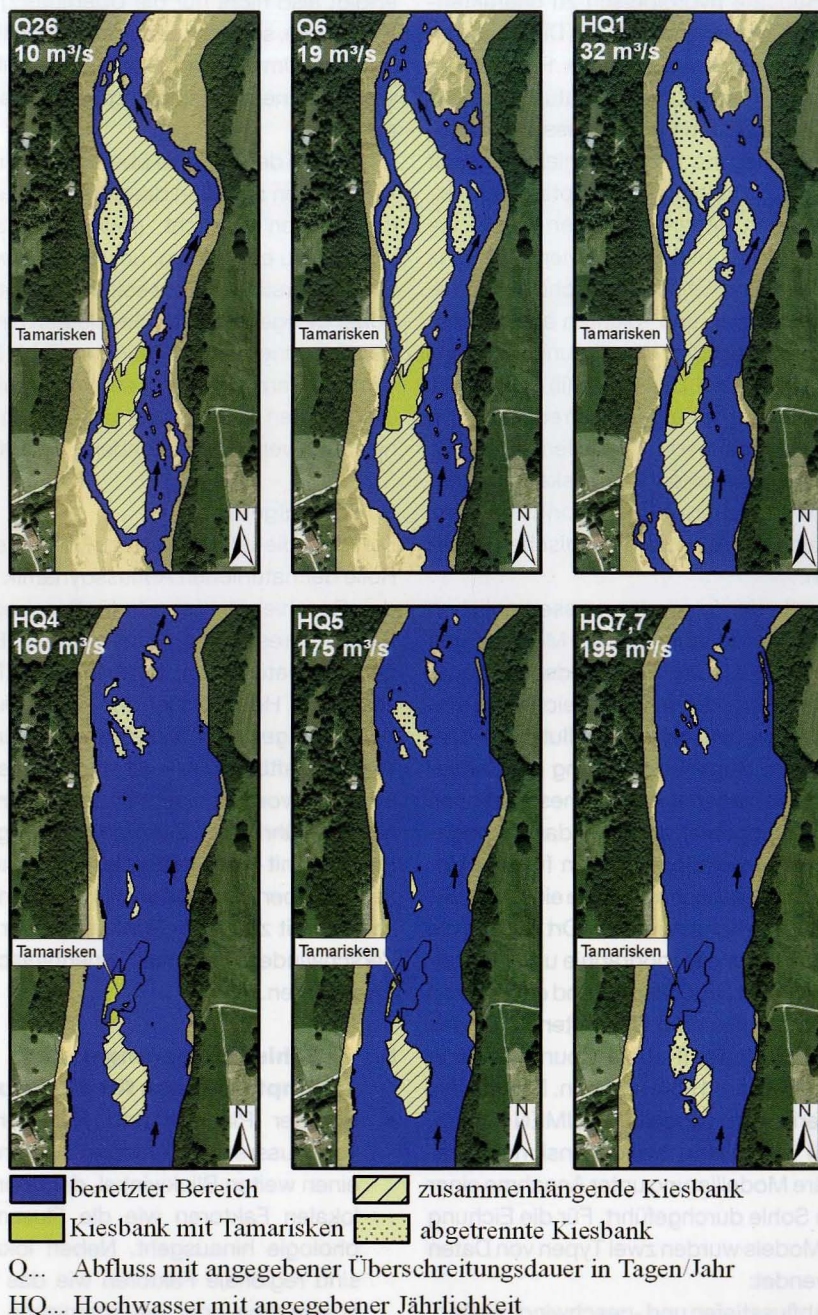


Bild 6. Simulation von Kiesbanküberflutungen bei verschiedenen Abflussverhältnissen an der Senseaue bei Plaffeien.

lusken, räuberische Plattwürmer) haben ihre Eimassen an den untergetauchten Flächen der Steine und Backsteine angeheftet (Bild 4b).

Die Ergebnisse zeigten, dass eine geringe Verfügbarkeit von Ablageflächen (z.B. in der Bünz in tieferen Strecken mit wenigen grossen Steinen) die Fortpflanzungsmöglichkeiten für die untersuchten Eintags- und Köcherfliegenarten stark einschränkte. Zudem zeigte ein Vergleich zwischen der Reppisch und der Bünz, dass auch das Abflussregime, ein regionaler Faktor, Einfluss auf eine erfolgreiche Eiablage hatte. In der Bünz, die im Gegensatz zur Reppisch durch starke Abfluss-

schwankungen charakterisiert ist, beeinflusste der Anstieg des Wasserstandes die Eimassendichte aller untersuchten Arten negativ. Rasche, durch Spülungen des Staubeckens der Tieffurtmühle verursachte Erhöhungen des Abflusses könnten den Eintauchgrad der Steine steigern und somit ihre Verfügbarkeit für adulte aquatische Insekten verringern. Abflusserhöhungen können aber auch als allgemeiner Stressfaktor (z.B. physischer Stress durch zu hohe Fliessgeschwindigkeiten) die Eiablage von allen aquatischen Invertebraten verhindern. Bei der Reppisch, die von keinen schwallähnlichen Schwankungen beeinflusst wird, konnte kein Effekt des

Wasserstandes auf die Eimassendichte festgestellt werden.

Schlussfolgerung:

Die Verfügbarkeit geeigneter Substrate für die Eiablage kann für eine Wiederbesiedlung von Lebensräumen durch aquatische Insekten sehr wichtig sein. Damit die erfolgreiche Eiablage und somit auch die Wiederbesiedlung revitalisierter Strecken durch aquatische Wirbellose (insbesondere Insekten) gewährleistet ist, sollten lokale Faktoren (Zusammensetzung des Substrates, mittlere Tiefe und Tiefenvariabilität) und regionale Faktoren (Abflussregime) berücksichtigt werden. Die Verfügbarkeit grosser, aus dem Wasser ragender Steine kann die Eiablage vieler Insektenarten lokal fördern.

7. Fallstudie 3. Die Rolle der Ausbreitungskapazität für genetische Vielfalt

Die genetische Vielfalt von Populationen hängt mit ihrer Grösse und ihrer Vernetzung mit anderen Populationen zusammen. Das Schrumpfen und die Isolierung von Populationen führen oft zu einer starken genetischen Verarmung. In einer Studie an der Sense (BE/FR) wurden genetische Marker verwendet, um die genetische Vielfalt von zwei aquatischen Makrozoobenthosarten mit sehr unterschiedlicher Ausbreitungskapazität zu untersuchen und zu vergleichen.

Der Bachflohkrebs (*Gammarus fossarum*) ist eine Art mit geringerer Ausbreitungsfähigkeit und hoher Habitatspezialisierung. Bachflohkrebse können sich nur im Wasser durch Kriechen oder passive Drift flussabwärts ausbreiten. In der Sense wurde diese Art vor allem in Zuflüssen mit hohem Laubeinfall gefunden. Die Eintagsfliege *Baetis rhodani* dagegen hat eine geflügelte Adultphase, die es ihr erlaubt, sich auch über Land und über Barrieren im Fluss auszubreiten. Ausserdem hat diese Eintagsfliege im Gegensatz zum Bachflohkrebs keine strenge Habitatspezialisierung und kommt in den Zuflüssen sowie im Mittellauf der Sense vor. Mehrere Populationen jeder Art wurden im Einzugsgebiet der Sense beprobt. Mit Hilfe der Mikrosatellitenanalyse wurden die genetische Vielfalt und die Differenzierung jeder Population bestimmt.

Die Ergebnisse zeigten, dass die genetische Vielfalt des Bachflohkrebses von der Lage der Population im Flussnetzwerk abhängig war und sich flussabwärts erhöhte (Bild 5a). Je näher die Populationen zur Einmündung der Sense in die Saane lagen (und damit je höher die Vernetzung mit anderen Fliessgewässern)

desto höher war die genetische Vielfalt des Bachflohkrebs. Die Populationen im Oberlauf der Sense wiesen dagegen eine niedrige genetische Vielfalt auf (Bild 5a). Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass Bachflohkrebse sich überwiegend flussabwärts bewegen, was wahrscheinlich mit einer eher geringen aktiven Ausbreitungsfähigkeit zusammenhängt. Die genetisch verarmten Populationen der Bachflohkrebse in den Oberläufen sind sehr wahrscheinlich gegenüber Störungen empfindlicher als Populationen im Unterlauf.

Für die Eintagsfliege wurde hingegen keine Abnahme der genetischen Vielfalt mit der Entfernung zur Flussmündung gefunden (Bild 5b). Dieses Ergebnis ist höchstwahrscheinlich durch eine hohe Ausbreitungsfähigkeit von *Baetis rhodani* bedingt, die zu einer hohen genetischen Austauschrate zwischen Populationen und gleichmässig ausgeprägter hoher genetischen Vielfalt führt.

Schlussfolgerung:

Bei Arten mit schwacher Ausbreitungsfähigkeit ist die Lage der Populationen im Flussnetzwerk für ihre genetische Vielfalt und somit für die Resistenz gegenüber Störungen ausschlaggebend. Lebensräume flussabwärts von grossen Populationen haben somit die höchste Wahrscheinlichkeit, von diesen Arten besiedelt zu werden und stabile, adaptionsfähige Populationen zu erhalten.

8. Fallstudie 4: Welche Rolle spielen Flussschwindigkeit und Geschiebetransport für die Tamariske?

Eine wichtige Eigenschaft der Flusslebensräume ist ihre Dynamik. Saisonale Schwankungen des Abflusses, des Geschiebetransports und der Wassertemperatur sind typisch für naturnahe Flüsse. Die natürliche Flussschwindigkeit ist entscheidend für die Erhaltung und Förderung verschiedener Lebensräume und deren Vernetzung. Für terrestrische, flussbegleitende Arten ist zum Beispiel die Wiederkehrzeit der Hochwasser massgeblich. Die Wiederkehrzeit der grossen, kiesbankumlagernden Hochwasser bestimmt das Sukzessionsstadium der Vegetation von Kiesbänken und Auenbereichen. Vor allem konkurrenzschwache, flussbegleitende Pflanzenarten benötigen Pionierstandorte zur Keimung ihrer Samen und zur erfolgreichen Etablierung von Jungpflanzen.

An der Sense (BE/FR) wurde die Überschwemmungsdynamik von Kiesbänken untersucht, um die von der Deutschen Tamariske (*Myricaria germanica*) besiedel-

ten Habitate hydrologisch zu charakterisieren (Gostner et al., 2010). Die Sense im Untersuchungsabschnitt bei Plaffeien ist durch eine vollkommen naturbelassene Morphologie und unbeeinflusste hydrologisches Regime und Geschiebehalt geprägt. Die relativ zum Hauptarm auf verschiedenen Höhen gelegenen Kiesbänke werden mit unterschiedlicher Frequenz überflutet und weisen unterschiedliche Vegetationstypen und -dichten auf: (i) Kiesbänke mit häufiger Überflutungsfrequenz und spärlichem Bewuchs, (ii) Kiesbänke mit mittlerer Überflutungsfrequenz und Vorhandensein von speziellen Arten wie z.B. der Deutschen Tamariske, (iii) Kiesbänke mit seltener Überflutungsfrequenz und einer für Auenwälder typischen Vegetation.

In der folgenden wasserbaulichen Studie wurde numerische Modellierung angewendet, um die Wiederkehrdauer feststellen zu können, mit welcher die einzelnen Kiesbanktypen überflutet werden. Durch die Gegenüberstellung der Zeitserien verschiedener Abflussmessstationen im Einzugsgebiet und eine daraus abgeleitete Interpolationsfunktion für den Untersuchungsabschnitt wurde eine Abflussdauerkurve konstruiert. Vor Ort wurden die genaue Geländetopographie unter Einbeziehung aller Bruchkanten und entlang von 19 Querprofilen die Charakteristiken des Sohlsubstrates (Pebble-Count-Methode nach Wolman, 1954) erhoben. Mithilfe des numerischen Modells FLUMEN (Beffa, 2004) wurde eine zweidimensionale, stationäre Modellierung unter Annahme einer fixen Sohle durchgeführt. Für die Eichung des Modells wurden zwei Typen von Daten verwendet:

- Abflusstiefen und -geschwindigkeiten, welche vor Ort erhoben wurden
- Abflusstiefen bei bordvollem Abfluss, welcher in verzweigten Fließgewässertypen mit einer Wiederkehrzeit von zwei bis sieben Jahren auftritt (Kellerhals et al., 1972).

Die Ergebnisse zeigten, dass bei einem Abfluss von $75 \text{ m}^3/\text{s}$, der rechnerisch einer Wiederkehrdauer von 1.3 Jahren entspricht, der Grossteil der nackten oder schwach bewachsenen Kiesbänke überflutet wird. Die Kiesbänke mit Vorkommen der Tamariske werden mit einer Wiederkehrdauer von ca. fünf bis sieben Jahren überschwemmt (der Abfluss von $195 \text{ m}^3/\text{s}$ entspricht einem etwa sieben-jährlichen Hochwasser; Bild 6). Bei diesen Hochwasserereignissen wird auch der bordvolle Abfluss erreicht, der zu grossräumigen Bettumlagerungen führt. Dabei

erfolgt also nicht nur die Überflutung der Kiesbänke, sondern auch deren Mobilisierung und Umwälzung, wodurch anschliessend eine neue Besiedlungsphase beginnen kann.

Bei den häufiger überschwemmten Kiesbänken schaffen die jungen Tamariskenpflanzen es nicht, genügend starke Wurzeln zu entwickeln, um die Hochwasser zu überstehen. Sehr selten überflutete, höher gelegene Kiesbänke bleiben hingegen über einen langen Zeitraum stabil. Dort wird die Tamariske im Lauf von wenigen Jahrzehnten von konkurrenzstärkeren Gehölzarten verdrängt (Ellenberg, H., 1963).

Schlussfolgerung:

Diese Studie lieferte wichtige Hinweise zur Rolle der natürlichen Abflussdynamik und des Geschiebetransports für flussbegleitende, terrestrische Pflanzenarten. Bleiben die natürlichen, bettbildenden Prozesse wie Hochwasser aus – z.B. durch Aufstauungen oder Wasserentnahmen für Wasserkraftbetriebe – ist die langfristige Erhaltung von Populationen der Tamariske nicht gewährleistet. Eine Verkleinerung der Habitate mit entscheidender Wiederkehrzeit von Überflutungen und Umlagerungen kann somit zu einem Rückgang oder gar Verschwinden solcher autotypischen Arten führen.

9. Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis

- Bei der Planung und Realisierung von Flussrevitalisierungen braucht es einen weiten Blickwinkel, der über die lokalen Faktoren wie die Flussmorphologie hinausgeht. Neben lokalen sind regionale Faktoren wie das Abflussregime oder die chemische Belastung des Flussgebiets für die Lebensräume bestimmend. Eine funktionelle Vernetzung zwischen Lebensräumen ist sehr wichtig, denn sie bestimmt, ob sich Arten von den Quellpopulationen her ausbreiten und neue Standorte in denselben oder angrenzenden Flusssystemen besiedeln können. Die Lage eines Flussabschnittes im Gewässernetz spielt für den Erfolg von Revitalisierungen und für die Erhaltung bzw. Wiederherstellung eines typischen Ökosystems mit vielen hoch spezialisierten Arten eine entscheidende Rolle.
- Für die unterschiedlichen Lebensphasen von Arten ist die Verfügbarkeit und Vernetzung ihrer spezifischen Habitate entscheidend. Sind die Bedingungen für eine erfolgreiche Repro-

duktion gewährleistet, können die Erfolgschancen einer Revitalisierung im Sinne einer ökologischen Verbesserung stark erhöht werden. So kann z.B. die Verfügbarkeit grosser, aus dem Wasser ragender Steine die Eiablage vieler Wasserwirbellosen in mittelgrossen Flüssen lokal fördern.

- Die Dynamik des Flusses bestimmt das Geschehen im ganzen Flusslauf. Eine natürliche Flussschiffahrt schafft eine Vielzahl unterschiedlicher Habitate. Bei einer unnatürlichen (z.B. Schwall-Sunk) oder einer eingeschränkten Dynamik (z.B. durch das Ausbleiben von kiesbankumlagernden, die Sohle reinigenden Hochwassern) reichen lokale morphologische Massnahmen zur Strukturverbesserung oft nicht aus, um die typische Artenvielfalt im und am Fluss wiederherzustellen. Diese stellt sich erst bei einer naturnahen Dynamik ein.

Literatur

Alp, M., Keller, I., Westram, A.M. & Robinson, C.T. (eingereicht): How river structure and biological traits influence gene flow: a population genetic study on two stream invertebrates with differing dispersal ability.

Brierley, G.J. & Fryirs, K.A. (2008): River futures: an integrative scientific approach to river repair. Island Press, Washington. 325 pp.

Beffa, C. (2004): 2D-Strömungssimulation mit FLUMEN. ÖWAV-Seminar «Fließgewässersedimentierung – von der Ein- zur Mehrdimensionalität?». Wiener Mitteilungen, BOKU Wien.

Burger, S. (2007). Bünz: Vom Kanal zum dynamischen Bach. Umwelt Aargau, 37: 9–15. http://www.ag.ch/umwelt-aargau/pdf/UAG_37_9.pdf.

Ellenberg, H. (1963): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Eugen Ulmer, Stuttgart, 943 S.

Encalada, A.C. & Peckarsky, B.L. (2007): A comparative study of the costs of alternative mayfly oviposition behaviors. Behavioral Ecology and Sociobiology, 61: 1437–1448.

Frankham, R., Ballou, J.D. & Briscoe, D.A. (2010): Introduction to conservation genetics. Second Edition, Cambridge University press, Cambridge, 618 S.

Gostner, W., Schleiss, A.J., Annable, W.K. & Paternelli, M. (2010): Gravel bar inundation frequency: «An indicator for the ecological potential of a river». Proceedings of the River Flow International Conference on Fluvial Hydraulics in Braunschweig, Sept. 8–10, pp. 1485–1494.

Herzog, C. (2010): Is hydromorphological diversity reflected in biodiversity? Semesterarbeit, ETH, Zürich.

Jaehrig, S.C., Brabec, K., Buffagni, A., Erba, S.,

Lorenz, A.W., Ofenböck, T. et al. (2010): A comparative analysis of restoration measures and their effects on hydromorphology and benthic invertebrates in 26 central and southern European rivers. Journal of Applied Ecology, 47: 671–680.

Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S. & Schmutz, S. (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Facultas, Wien, 547 S.

Kellerhals, R., Neill, C.R. & Bray, D.I. (1972): Hydraulic and geomorphic characteristics of rivers in Alberta. Alberta Research Council, Edmonton, Alberta, 52 pp.

Lawton, J.H. (1994): What do species do in ecosystems? OIKOS, 71: 367–374.

Moog, O. (1993): Quantification of daily peak hydropower effects on aquatic fauna and management to minimize environmental impacts. Regulated Rivers: Research & Management, 8: 5–14.

Naiman, R.J., Decamps, H. & McClain, M.E. (2005): Riparia. Ecology, conservation and management of streamside communities. Elsevier, Burlington, MA, 448 p.

Palmer, M., Menninger, H.L. & Bernhardt, E.S. (2010): River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice? Freshwater Biology, 55: 205–222.

Peckarsky, B.L., Taylor, B.W. & Caudill, C.C. (2000): Hydrologic and behavioral constraints on oviposition in stream insects: implications for adult dispersal. Oecologia, 125: 186–200.

Reich, P. & Downes, B.J. (2003): The distribution of aquatic invertebrate egg masses in relation to physical characteristics of oviposition sites at two Victorian upland streams. Freshwater Biology, 48: 1497–1513.

Rohde, S. (2005): Flussaufweitungen lohnen sich! Ergebnisse einer Erfolgskontrolle aus ökologischer Sicht. Wasser Energie Luft, 97 (3/4), 105–111.

Salveit, S.J., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V. & Harby, A. (2001): Field experiments on stranding in juvenile atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. Regulated Rivers-Research & Management, 17: 609–622.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2005): Handbook of the convention on biological diversity including its Cartagena protocol on biosafety. 3 edition, Friesen, Montreal, Canada, 1493 pp. <http://www.cbd.int/handbook/>

Staheli, T. (2008): Revitalisierungen an der Bünz: Zusammenhänge zwischen Hydromorphologie und Makrozoobenthos. Diplomarbeit, ETH, Zürich, 44 S.

Studemann, D., Landolt, P., Sartori, M., Hefti, D. & Tomka, I. (1992): Ephemeroptera – Insecta. Helvetica Fauna 9: 175 pp.

Vaughn, C.C. (2010): Biodiversity Losses and Ecosystem Function in Freshwaters: Emerging

Conclusions and Research Directions. BioScience, 60(1): 25–35.

Wolman, M.G. (1954): A method of sampling coarse bed material. American Geophysical Union, Transactions, 35: 951–956.

Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T. et al. (2005): Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhone-Thur-Projektes Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ, 111 S.

Danksagung

Hiermit bedanken wir uns bei Sonia Angelone, die eine wichtige Rolle beim Koordinieren unserer Arbeit gespielt hat und mehrere konstruktive Kommentare zum Manuskript geliefert hat. Wir danken Tino Stäheli und Claude Herzog für die Daten zur Habitats und Artenvielfalt an der Bünz und der Sense und Lukas Indermaur für die Hilfe beim Auswerten der Ergebnisse vom Backsteinexperiment. Simone Blaser und Christa Jolidon waren von einer grossen Hilfe im Feld. Wir danken Ronny Lange von Patschelder & Partner für die Hilfe bei der Erstellung der Graphen und Andrea Encalada für die Erlaubnis, ihre Abbildung zur Eiablage der Eintagsfliegen zu verwenden. Irene Keller, Anja Westram und Christopher T. Robinson haben viel zur Planung, Durchführung und Auswertung der populationsgenetischen Studie zu *Gammarus fossarum* und *Baetis rhodani* beigetragen. Lara Pfister hat eine grosse Hilfe bei den DNA Extraktionen für *Gammarus fossarum* und *Baetis rhodani* geleistet. Die Proben von *Gammarus fossarum* und *Baetis rhodani* wurden am Genetic Diversity Center (GDC) der ETH Zürich präpariert und/oder laufen gelassen. Wir danken Aria Minder und Tania Torossi für ihre freundliche Unterstützung. Wir danken BAFU für die Finanzierung des Projektes «Integrales Flussgebietsmanagement» und Eawag für die Finanzierung genetischer Analysen mit Action Field Grant.

Anschrift der Verfasser

Maria Alp ^{1,4}, Theresa Karpati ², Silke Werth ², Walter Gostner ⁵, Christoph Scheidegger ², Armin Peter ³

¹ Dept. Aquatische Ökologie, Eawag
CH-8600 Dübendorf, Schweiz.

² FE Biodiversität und Naturschutzbiologie,
WSL, CH-8903 Birmensdorf, Schweiz.

³ Dept. Fischökologie und Evolution, Eawag,
CH-6047 Kastanienbaum, Schweiz.

⁴ Institut für Integrative Biologie, ETH Zürich,
CH-8092 Zürich, Schweiz.

⁵ Laboratoire de constructions hydrauliques,
EPFL ENAC IIC LCH, CH-1015 Lausanne

⁶ E-mail des korrespondierenden Autors:
armin.peter@eawag.ch